FACTORES DE COMPRA DE LAS CALDERAS .

Siendo la compra de una caldera, un paso muy importante, ya que estaremos atados a los resultados a la elección de la caldera que hemos comprado, dado que una vez comprada, demasiado no se puede hacer para mejorarla en muchos de los casos.

Debemos tener presente los comentarios efectuados en los capítulos anteriores, especialmente en los detalles informados sobre la combustión y el problema de los gases no quemados, que iremos viendo en capítulos posteriores como se miden y se valoran.

Consideraciones para comprar una caldera:

Debemos de tener en cuenta :

1-El **combustible** (o los combustibles y su calidad en las peores condiciones).

No todos los tipos de calderas pueden quemar cualquier tipo de combustible.

En este caso **: la quema de leña, es muy importante conocer de antemano la calidad de la leña que obtendremos** (humedad máxima, cáscaras, tamaños, mano de obra disponible, etc.). Pero veamos a continuación algunos puntos generales:

Podemos establecer que si las calderas son especialmente diseñadas para sus respectivos combustibles, las siguientes **relaciones aprox.**:

1 L. de F. Oíl pesado equivale a.....**3,0-3,5 Kg. leña con 25% H.b.h.**
1 L. de F. Oíl pesado equivale a.....**1,05-1,15 m3. de gas natural** (Paysandú).
1 L. de F. Oíl pesado equivale a.....**3,3-3,6 Kg. cáscara arroz 10% H.b.h.**

Estos valores están afectados si las calderas tienen recuperadores de calor, que no siempre es posible (por problemas de corrosión). Cuando **la caldera se pretenda para quemar gas natural**, se debe de considerar si el diseño es adecuado para la quema de gas natural, de lo contrario se corre el riesgo de aflojamiento de tubos y fisuras, en la placa más caliente, dado que el gas tiene una temperatura más elevada al final del hogar debido a la forma de transmitir el calor diferente a los combustibles líquidos (estos últimos tienen una llama más radiante, más sobre el quemador, por lo cual enfrían la llama rápidamente en el hogar, antes de llegar a la placa más caliente). **Además, cuando se quema gas natural, un combustible muy difícil de almacenar y que puede estar sujeto a cortes en el suministro, es conveniente disponer alternativas de combustible** (como ser: un quemador dual, que pueda quemar combustible líquido o gas natural).

La gran conveniencia de la quema de leña, es la seguridad de suministro por el manejo de "stock", que bien estibada, se mantiene "seca" y con un bajo grado de pérdidas por putrefacción. **En una palabra, no hay temor a paradas forzadas por falta de combustible.**

Otros factores:

2-La calidad del **agua de reposición y condensados**, la posibilidad de tratamientos (la limpieza química y mecánica).

No todos los tipos y dentro de los tipos, no todos los modelos tienen acceso mecánico para limpieza, habiendo tipos de calderas que no toleran contaminaciones del proceso (aceites, grasas, etc.) otras no toleran barros o son sensibles a cualquier clase de incrustaciones, otras son arrastradoras , etc..

3-La **presión de trabajo** normal y sus limitaciones (respuesta).

Hay calderas que son lentas a las respuestas de los cambios de presión, afectando con esta características el desempeño o calidad del vapor.

Aquí vemos que la "quema directa" tiene mayor respuesta que la "quema por gasógeno".

4-**Temperatura** (vapor saturado o sobrecalentado) y **calidad del vapor** ("cualidad", "título" o humedad y pureza).

De acuerdo a su utilización, la temperatura y calidad del vapor es clave, pudiendo una caldera no funcionar correctamente para la alimentación de vapor a una turbina (arrastres y sobrecalentamiento necesario), o como para que la pureza deseada del vapor pueda afectar el proceso (teñidos, procesos alimenticios, etc.).

Cuando una caldera es lenta de respuesta, si baja la presión de trabajo, se produce un aumento del volumen específico del vapor, por lo tanto en ese momento pueden ocurrir "arrastres" de agua en el vapor.

5-**Capacidad de vapor horaria** (Kg/hora) y su **posibilidad de sobrecarga** (%).

Esta capacidad la debemos calcular a partir de las necesidades máxima de vapor de la planta, considerando un % de "pico" o sobrecarga en la puesta en marcha de la planta o en la previsión del aumento del consumo de vapor en el futuro.

Para expresar la capacidad de la caldera debemos de ser cuidadosos, ya que la capacidad varía de acuerdo a la presión del vapor y a la temperatura del agua de alimentación. Una forma de expresión para evitar esta confusión, es expresar la capacidad de vapor en Kgs. hora de vapor de 100ºC a 100ºC (equivalente de evaporación) o de lo contrario expresar los parámetros anteriores de presión, temperatura del vapor, "cualidad" del vapor y temperatura de alimentación (ambas formas son intercambiables). **Debemos considerar que lo conveniente de la capacidad al cual va ser usada la caldera sea el el punto no solamente de mayor eficiencia, sino que la calidad del vapor sea adecuada** (generalmente en el orden del 70% es el ideal, ya que cuando la caldera pasa a funcionar por encima del 70% aparecen los problemas de la calidad del vapor : arrastres y espumas, relacionados a los límites químicos establecidos, ya que la vaporización específica es muy alta en la actualidad, lo que significa un mayor factor de inestabilidad interna).

La capacidad horaria de Kg. de vapor, también la podemos establecer, **en relación al consumo horario de combustible**, por lo cual podemos establecer las siguientes relaciones aprox. para caldera de vapor saturado entre 7 a 10 Kg/cm2 de presión :

1 L. F. Oíl pesado.....**12,5 a 14,5 Kg. de vapor .**
1 Kg. leña 25H.b.h......**3,8 a 4,8 Kg. de vapor .**
1 Kg. de cáscara de arroz 10%H.b.h....**3,6 a 4,2 Kg. de vapor .**
1 m3. gas natural (Pay.) .....**12,5 a 13,5 Kg. de vapor .**

Estos valores están relacionados al diseño de la caldera, el % de marcha, a los recuperadores de calor en chimenea, al exceso de aire, la calidad de combustión, temperatura del agua de alimentación, vapor saturado, vapor sobrecalentado, aislación, pérdidas y purgas, etc..

6- Eficiencia Total referida al P.C.I. (%) al 100% de capacidad.

Nos permite obtener una idea de los Kgs. de vapor por Kg. de combustible para poder comparar distintas ofertas. (Los combustibles y demás parámetros deberán ser iguales para poder hacer la comparación). Aquí estarán indicadas la eficiencia global de la caldera (la Eficiencia de Combustión y Transferencia, la Eficiencia de la Caldera como equipo térmico: aislación solamente, ya que se supone que las purgas estarán cerradas en la prueba y no deberá haber pérdidas de agua o vapor). Esta Eficiencia Total al P.C.I. al 100% de la capacidad, hoy en día anda próximo a los 90% al P.C.I. (ya que la Eficiencia Térmica en general anda en el 97% a 99%, y la Eficiencia de Combustión y Transferencia entre un 88% a 91% al P.C.I, ambas según sea el tipo de caldera relacionada al tipo de combustible y sus recuperadores de calor. Recordar que al 100% de capacidad no es el punto de mayor eficiencia (es próximo al 70% en general). Debemos de decir que cuando nos referimos a la Eficiencia al P.C.I nos dá % más representativo de la caldera y que cuando nos dan la Eficiencia referida al P.C.S. nos da % que refleja más el comportamiento del combustible. Los americanos (USA) usan por lo general la Eficiencia al P.C.S., en Europa (y por lo general Uruguay), se utiliza al Eficiencia al P.C,I, **aquí lo importante es tener mucho cuidado cuando comparamos ofertas con Eficiencias expresadas en diferentes Eficiencias** (por lo general, hay unos puntos de % más bajo en la Eficiencia al P.C.S. que la expresada al P.C.I, cuanto más sea la diferencia del combustible entre el P.C.S. y el P.C.I, esta diferencia será mayor, aunque si bien los % en números son diferentes, indican lo mismo, ya que cada % de expresión de Eficiencia se debe multiplicar por el respectivo P.C. y ambos darán la misma cantidad de calor aprovechado).

7-**Eficiencia (P.C.I.) de combustión en el tiempo.** (períodos de limpieza sin perder la Eficiencia en forma notoria, se nota generalmente por aumento de temperatura en los gases de chimenea, aumentando la pérdida por la misma).

Permite saber de antemano los tiempos de parada para limpieza (tiene un costo) y si el consumo de combustible no aumentará en demasía entre períodos por pérdida de la Eficiencia al ensuciarse la caldera. La temperatura de chimenea es la más afectada con el ensuciamiento de las superficies de transferencia y por lo tanto la Eficiencia de Combustión y Transferencia, bajando el misma entre períodos de limpieza.

8-**Sistema de seguridad** : válvulas de seguridad (aconsejable 2 mínima), controles de nivel (2 mínimo con corte de combustión), grifos de control de nivel, presóstatos, alarmas , tapón fusible (si es reglamentario) , etc..(verificar que las válvulas de seguridad sean realmente de : apertura total, diferencial y que tengan palanca de prueba).

9-**Sistema de purgas** : purgas de nivel (conectadas para apertura total), purgas de fondo (preferible doble válvula con una rápida) y purga **continua** (de superficie).

10-**Entradas de inspección** y **limpieza**-Entrada de hombre si es necesaria, cabeza y mano (cercanas a las purgas, entradas de alimentación, partes de fondos y parte superior para control de limpiezas químicas y mecánicas).

11- **Bomba de alimentación** con capacidad suficiente para un prolongado tiempo de servicio (presión y capacidad), atendiendo a las condiciones químicas del agua y temperatura (empaquetadura o sello mecánico), servicio discontinuo o servicio permanente (regulación continua), rendimiento (ó consumo de potencia). **Sistema alternativo de alimentación: inyectores a vapor o bombas alternativas (calderas a combustión de celulósicos: leñas, cáscaras, etc.)**

12-**Control de la combustión**: **sistemas relacionados con su seguridad**, modulación continua (se obtienen los mejores rendimientos), semi-modulado (por saltos) o discontinuas (on-off) cuyo rendimiento es el inferior.

13-**Normas de construcción y pruebas** : ASME, NBN,VDTUV,IRAM,CECT, etc.

14-**Garantía , inspecciones durante y al final de garantía.** Con medida de la Eficiencia, directa e indirecta.

Dentro de los controles de fabricación: es importante informarse que se cumplan con las inspecciones de construcción, especialmente las radiografías de soldaduras de aquellos lugares que indiquen las normas (envueltas y domos, etc), el aliviado de tensiones según normas, que se hace por "recocido" (normalizado) de las partes sometidas a presión (generalmente envueltas con sus placas, hogares y domos, etc.), las pruebas hidráulicas indicadas al efecto, etc.

Es aconsejable antes de comprar una caldera: pedir al fabricante los lugares en que se encuentran equipos instalados de similar características, visitar a dichos establecimientos en forma personal, hablar no solo con los encargados, sino con los foguistas a cargo de las calderas (sin la compañía del fabricantes de caldera, que luego se podrá coordinar una nueva visita para la cual estaremos preparados para hacer preguntas).

En la **primer visita es conveniente preguntar**:

Conformidad con la misma. **Repuesta a los cambios de consumos.** Tiempo de calentamiento para su puesta en servicio. **Períodos entre limpiezas y variación de la temperatura de chimenea entre dichos períodos**. **Problemas con la calidad del vapor**. Aflojamientos de tubos. Explosiones de hogar. Repuesta a las distintas calidades de combustible. Facilidad de la limpieza de la parte de humos y de la parte de aguas. Kg. de vapor por Kg. de combustible (si es leña preguntar la humedad). Número de personal para su funcionamiento. Límites en la calidad del combustible (en leña humedad). Límites en la calidad del agua de alimentación (problemas de arrastre o espumas). Zonas de mala circulación de agua (probable depósitos barrosos). Recuperadores (eficiencia y limpieza). Facilidad de manejo. etc.

Una de las limitaciones más importante en las calderas en la parte de combustión es la **cantidad de calorías por m3. máximo** que podemos **liberar en el hogar** (**promedio en Kcal/m3.**), así como **el máximo pico de flujo de calor por superficie** (**Kcal. por m2**). Debemos de tener en cuenta que el fabricante cumpla con esta norma, ya que se encuentra muy ligada la misma a la seguridad de los hogares cilíndricos especialmente. Ejemplo: En calderas humo-tubulares es de **1.250.000 Kcal/m3** para la British Engine Regulations y el límite de pico de flujo por la superficie de la cámara de combustión es de **250.000 Kcal./m2** para la ABG 28, etc.. Este límite afecta hasta el espesor del material del hogar cilíndrico.

En los hogares acuo-tubulares esta expresión afecta a la circulación del agua en los tubos, pudiendo los mismos "quemarse" por falta de "refrigeración".

Otras formas de expresión de la vaporización de una caldera:

Podemos decir que la vaporización de una caldera es de 40 Kgs. /hora de vapor por m2. de superficie de calefacción, es decir que la capacidad de vapor en Kgs. de la caldera esta dada por el expresión de :

Kgs./h/m2 x superficie calefacción = Kgs. de vapor hora (debemos decir que presión, temperaturas del vapor y del agua a utilizar , o los Kgs. de vapor "equivalente" o sea de 100ºC a 100ºC).

En las calderas antiguas este valor estaba en unos 15-20 Kgs./h/m2, estando actualmente en más de 50 -55 Kgs./h/.m2. en calderas humo-tubulares a combustibles líquidos o a gas natural, pero **en leña estos valores por lo general están entre los 20 y 30 Kgs./hora de vapor por m2**.

Los americanos (U.S.A.) expresan la capacidad de vaporización en "caballo de vapor de caldera" (CV): 1 "caballo de vapor" equivale a 33.475 BTU/hora ó 8.502 Kcal/hora (unas 30 Lb. vapor a 70 lb/pulg.2 manométricas con agua de alimentación a 100ºF , o sea , unos 13,6 Kg. de vapor a 4,9 Kg./cm2 manométricos con agua de alimentación a 37,7ºC).

No deben confundirse esta expresión promedio de Kgs/m2 que se refieren a la superficie total de calefacción con aquellas referidas a los límites máximos admisibles en los hogares que también se refieren a superficies. En la actualidad, es muy común expresar la capacidad de la caldera en Kwh (kilovatios/hora, 1 kwh=860 Kcal), tanto la capacidad de combustión, como la capacidad de producción de vapor. También se utiliza el Joule o mejor el MJ (mega-Joule, recordando que un mega es 1.000.000 de veces y que el Joule equivale a un vatio o watts, una medida referida al segundo, lo cual si los trasladamos al Kwh, equivale 3,6 MJ, siendo un Kwh igual a 860 Kcal o que 1 MJ= 860/3,6= 238,9 Kcal).

Efectos que provoca el vendedor: el vendedor, frente al temor de encarecer su producto (caldera), **ofrece la caldera con la menor cantidad de elementos que encarecen su construcción, esto puede ser muy malo para el comprador, ya que compra una caldera "barata" que a la "larga sale cara".** Un hogar cilíndrico, un calentador de aire, una bomba de alimentación de alto rendimiento, etc., si bien tienen un costo inicial, tienen mucho más beneficios en su utilización, que redundará en el futuro una "ganancia permanente".

No dejarse impresionar por el que vende, este siempre tendrá miedo que la "competencia" con el mismo "truco" de eliminar elementos, pueda bajar el precio y "robarse el cliente". Uno debe de comprar y no ser vendido, para eso hay que asesorarse adecuadamente.

_La compra de una caldera, es un algo muy delicado, ya que en su vida útil "quemará" en dinero muchas veces lo que ha costado.

Por ejemplo: una caldera de 2.000 kg. hora de vapor a 10 Kg./cm2, a leña, cuesta unos U$S 35.000 a U$S45.000 (un valor aprox.), si funciona la 24 horas, al 70% de su capacidad unos 320 días al año, consumiría por hora unos 350 Kg. de leña (25%H.b.h.), en **año, el consumo de leña sería** 0,350x24x320= **2.688 tn. de leña seca** (cuyo valor por tonelada a boca de caldera, se puede estimar en U$S32/Tn), **es un costo anual de consumo de leña** 2.688x32= **U$S 86.016** (dólares por año). **Esto significa, que el costo de la caldera no es relevante frente al costo anual del combustible, por lo cual, la caldera debe ser comprada mirándo todos "los ángulos" que permitan un mejor aprovechamiento del combustible.**

EFICIENCIA EN LAS CALDERAS A LEÑA

Dado que cuando compramos una caldera a leña, estamos haciendo una inversión en la que tenemos la necesidad de que el "ahorro" o "amortización" de la caldera sea adecuado, ya que quemar leña tiene su "trabajo" (ya que lo más simple sería quemar gas natural, viene por un cañería, o combustibles líquidos, que no hay manipuleo), **pero quemar leña también tiene su ventaja, no solo el precio** (disponer un stock de seguridad, es nacional, la caldera por lo general no dá problemas "sofisticados" ya que casi no hay automatismos, no se precisa un personal muy tecnificado, etc. y se dá un gran beneficio de trabajo interno y un ahorro de divisas para el País).**Por lo que veremos como se mide una Eficiencia o Rendimiento de las calderas en general.**

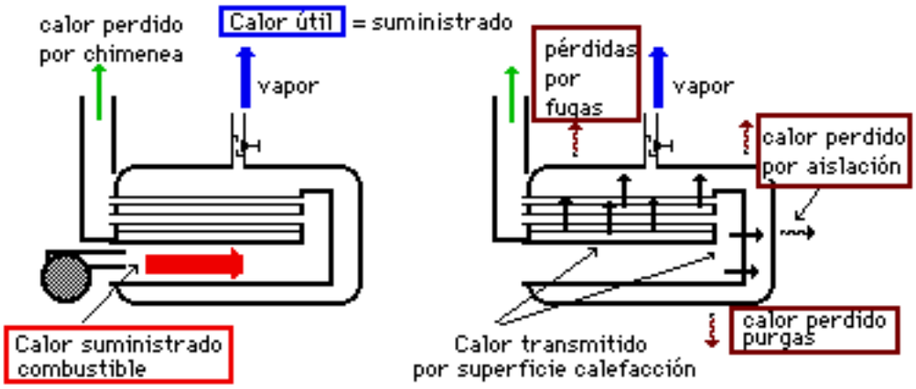
EFICIENCIA EN LAS CALDERAS:

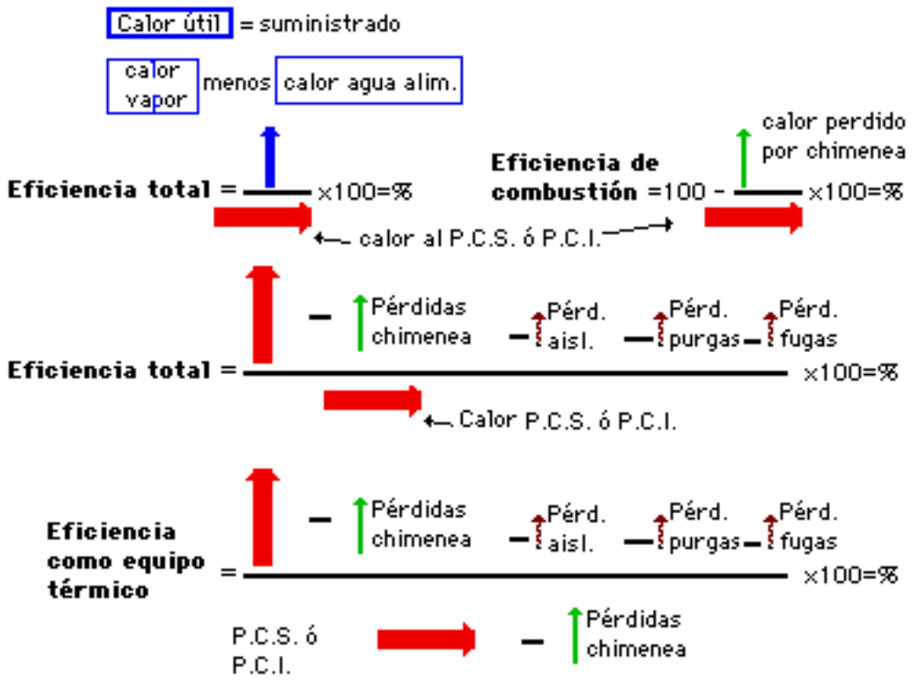
La medición de la eficiencia en las calderas significa la **evaluación** o medida del **porcentaje** (%) del **aprovechamiento del calor capaz de suministrar un combustible**. Este calor suministrado por el combustible podrá estar referido al Poder Calorífico Inferior (**P.C.I.**) o Poder calorífico Superior (**P.C.S.**). En las calderas podemos establecer, a grandes rasgos, en dos las pérdidas de calor: Una provocada por el **calor que perdemos al salir los gases** calientes **por la chimenea** (el aire y el combustible que forman esos gases se consideran a la temperatura de la sala al tomarlos para su combustión, aunque el combustible en algunos casos se calefacciona de una fuente exterior como ser eléctricamente, pero en la práctica la mayoría de los casos lo tomaremos como se indico al principio) y la segunda es la **pérdida provocada por la caldera como cualquier equipo térmico** (pérdidas de calor por la aislación, por las pérdidas de agua y vapor, incluyendo las purgas necesarias, etc.).

Eficiencia de la combustión:

Si consideramos solamente la evaluación de la primera pérdida (por los gases de chimenea), podemos decir que estamos evaluando la **eficiencia de la combustión**: En este caso estamos considerando el calor que quedó en la caldera, no así el que es transferido realmente al vapor. Comparando mediciones hechas en la misma caldera en un corto tiempo, realmente estamos comparando su calidad de combustión (exceso de aire, gases no quemados, etc.). Si **comparamos calderas distintas o en momentos distantes de una misma caldera**, esta eficiencia de combustión está también juzgando las **condiciones de transferencia** de la superficie de calefacción (sucias de hollín, incrustaciones del lado agua, etc.) y de pérdidas directas al exterior (hogar de refractario, envueltas refractarias, etc.), pudiendo también considerarse aquellos casos de roturas interiores de elementos que conducen a los gases calientes hacia las superficies de intercambio (bafles, diafragmas, torbellinos,etc.), este caso se nota fundamentalmente por el aumento de la temperatura de los gases en chimenea.

Considero que esta Eficiencia debería llamarse EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA.





Eficiencia de la caldera como equipo térmico:

En este caso estamos considerando el **% de calor suministrado al vapor** del total de **calor que ha quedado en la caldera**. El calor que ha quedado en la caldera es el % que nos da el cálculo o medición de la **eficiencia de combustión y transferencia.**

El calor suministrado al vapor será menor debido a las pérdidas de calor por las superficies de la caldera en contacto con el aire de la sala de calderas o por su estructura, debemos agregar las pérdidas producidas por las fugas de agua caliente y vapor (considerando las purgas necesarias). Esta eficiencia, sino consideramos las pérdidas de vapor y agua (con purgas), son fijas para una misma presión, por lo que a mayor régimen de vaporización menor serán en % respecto al calor transferido a la caldera. Por eso es importante que la caldera sea calculada para un régimen de marcha normal del 70% al 80% de su capacidad y que la calidad de agua permita el mínimo de purgas (una máxima recuperación de condensado) y mínimas pérdidas de vapor con un buen mantenimiento.

De la consideración de la **eficiencia de la combustión** y de la **eficiencia de la caldera** como equipo térmico, podemos establecer una **eficiencia total**.

La eficiencia total de una caldera está expresando en **%, el porcentaje del calor total suministrado por el combustible** (referido al P.C.S. o al P.C.I.) **que es tomado en la caldera y es transportado por el vapor**.

Para medir estas eficiencias (combustión, caldera como equipo térmico, o la eficiencia total) debemos de conocer o tomar una serie de valores que relacionaremos en expresiones matemáticas para cada caso. Estas mediciones se harán con instrumentos (medidores de gases, termómetros, manómetros, caudalímetros, etc.) y se tomarán valores de tablas (tablas de vapor, diagramas de Ostwald para gases, etc.).

Veamos una forma práctica de hacer estos cálculos, con un valor aproximado suficiente para el trabajo normal de evaluación en baja y media presión.

La Eficiencia en calderas se establece por dos métodos : Directo e Indirecto.

Eficiencia Directa (aproximado): Mida la cantidad de vapor en Kg./h (ó la cantidad de agua de alimentación menos las purgas y pérdidas en Kg./h), su presión y su temperatura, la temperatura del agua de alimentación. Al mismo tiempo mida la cantidad de combustible consumido para producir dicho vapor. De las tablas de vapor saturado tome el calor total del vapor (si no es saturado, tome una tabla de vapor sobrecalentado) y el calor del agua a la temperatura de alimentación. Usando la siguiente fórmula Ud. obtendrá la Eficiencia Total aproximada en forma directa:

$$\textbf{Eficiencia Total \%} = \frac{\text{Kgs.vapor/h x (Kcal/Kg. vapor - Kcal/Kg. agua) x 100}}{\text{Kgs. combustible/h x Poder calorífico Kcal./Kg.}}$$

El poder calorífico que se debe de tomar es aquel al cual queremos referir la Eficiencia Total, o sea **P.C.S.** ó **P.C.I.**. (se ha despreciado la "cualidad" ó "título" del vapor saturado, es decir: el agua "arrastrada sin evaporar por el vapor").

Eficiencia Indirecta (aproximada): En este caso se miden las pérdidas en chimenea y calculando su %, podemos establecer que:

100 - % pérdidas en los gases de chimenea = % Eficiencia de la combustión.
(y transferencia).

Las pérdidas de la caldera en sí (purgas, pérdidas de calor por su cuerpo a la sala, pérdidas de agua y vapor) no las tenemos en cuenta (ya que las mismas se relacionan con el Eficiencia Total y no con la Eficiencia de la combustión y Transferencia).

Para el cálculo de esta pérdidas por chimenea debemos conocer :

Ai = Aire teórico mínimo que necesita el combustible (Kg./ Kg.), Ag = agua formada por el combustible + agua de la humedad del combustible (Kg).

A% = Exceso de aire (medido por medio del CO2 ó O2), igual al (Coeficiente de exceso aire) x 100 - 100 = A% (ver gráficos en este capítulo).

Cp = Calor específico de los gases de combustión (aproximado 0,25 Kcal /Kg.). Este calor específico varía de acuerdo a la composición de los gases y la franja de temperatura de trabajo (generalmente no es menos de 0,25 Kcal/kg y no más de o,26 Kcal/kg)

T2= temperatura de los gases de chimenea en ºC .

T1 = temperatura del aire utilizado en la combustión ºC (temp. aire en la sala).

Poder calorífico (P.C.S. y P.C.I.). del combustible (Kcal/Kg).

$$\text{Eficiencia comb. P.C.S.} = 100 - \frac{[(1+Ai \times (1+A\%/100) \times Cp \times (T2-T1) + Ag \times 600] \times 100}{\text{P.C.S.}}$$

$$\text{Eficiencia comb.P.C.I.} = 100 - \frac{[(1+Ai \times (1+A\%/100)) \times Cp \times (T2-T1)] \times 100}{\text{P.C.I.}}$$

Observase que en la Eficiencia de la combustión referida al P.C.S. hemos tenido en cuenta el calor que absorbe el agua que trae el combustible al evaporarse (Ag x 600), no hemos tenido en cuenta el sobrecalentamiento de la misma, de la humedad del aire, de los gases no quemados (ya que estamos haciendo un cálculo práctico aproximado).

Veamos la cantidad mínima necesaria de **aire teórico Ai** para los combustibles usuales:

Fuel Oíl pesado.....13,22 Kg. aire por Kg. de F.Oíl
Súper gas.....15,7 Kg. de aire por Kg. de súper gas.
Gas natural .....16,3 Kg. de aire por Kg. de gas natural.
La leña varía con la humedad (ya que a más humedad menos combustible)
Leña con 25% de humedad.....4,800 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 30% de humedad.....4,480 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 35% de humedad.....4,160 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 0% de humedad.....6,400 Kg. de aire por Kg. de leña.

Cáscara de arroz 10% de humedad.....4,360 Kg. de aire por Kg. de cáscara.
Cáscara de arroz 0% de humedad.....4,850 Kg. de aire por Kg. de cáscara.

Para el cálculo de Ag x 600 podemos sustituirlo por = P.C.S.- P.C.I. ya que la diferencia de los mismos es la cantidad de calor en evaporar el agua total (suponiendo que el combustible no trae agua extra después del análisis de la Bomba de Calor).

Si consideramos la **Eficiencia Total** (que es igual **al calor entregado al vapor en referencia al calor entregado por el combustible**) debemos de considerar la **Eficiencia de la caldera como equipo térmico** (considerando las pérdidas por la aislación, vapor y agua, purgas), ya que la caldera recibe el calor que hemos calculado en la **Eficiencia de la combustión y transferencia** (calor del combustible - calor perdido en chimenea) y entrega al vapor un calor de menor cuantía por dichas pérdidas (aislación, purgas, pérdidas de agua y vapor). Podemos establecer que la :

Eficiencia Total = Eficiencia a la Combustión x Eficiencia de Caldera (como Equipo térmico).

Con todas las eficiencias referidas al mismo poder calorífico, establecido esto, podemos decir que:

Eficiencia Total directa = Eficiencia Total indirecta.

Por lo que podemos establecer que la Eficiencia de la caldera como equipo térmico es:

Eficiencia Caldera (equipo) = Eficiencia Total dir. ÷ Eficiencia Combustión Indirecta

La Eficiencia de la caldera como equipo térmico, si no consideramos la purgas y pérdidas de vapor y agua, actualmente con los diseños de las calderas más compactas y mejor aisladas, son del entorno del 97% al 99% de la producción máxima de la caldera (esto quiere decir que cuanto más baja la producción de vapor de la caldera, esta pérdida adquiere mayor importancia, de allí que las calderas se deben elegir para trabajar al 70% de su capacidad, dejando un 30% para tomar las cargas momentáneas. Las calderas antiguas, con mucha estructura, refractarios y poca aislación o mala, tenían pérdidas del orden del 15% al 10%, de allí que fueran candidatas a su sustitución por las calderas modernas (ya que esta pérdidas muchas veces era el valor de una caldera nueva que se pagaba en un año).

Cálculo Ahorro de combustible : (mejorando la combustión)

El ahorro de combustible, suponiendo que es la misma caldera, su Eficiencia como equipo térmico permanecerá igual, el ahorro se puede medir y calcular midiendo la Eficiencia a la combustión y trans. (midiendo el exceso de aire y con un termómetro):

$$\text{Ahorro \%} = \frac{[\text{Eficiencia Comb. \%:mejorada} - \text{Eficiencia comb.\%:anterior}]\ x100}{\text{Eficiencia Comb.\%:mejorada}}$$

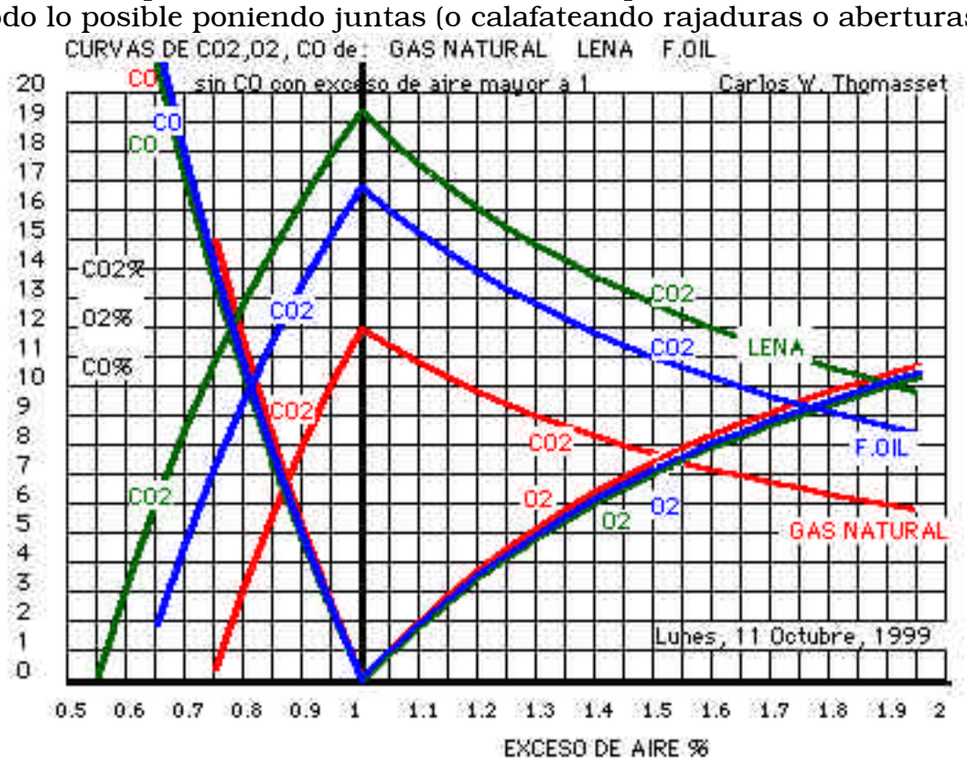
Cálculo de Ahorro de combustible: (**disminuyendo las purgas, fugas y mejorando la aislación**):

$$\text{Ahorro \%} = \frac{[\text{EficienciaTotal: \% mejorada} - \text{EficienciaTotal:\% anterior}]\ x100}{\text{Eficiencia Total:\% mejorada}}$$

No hemos tenido en cuenta el combustible sin quemar en cenizas, hollín , etc..

Medición del exceso de aire en gases de chimenea:

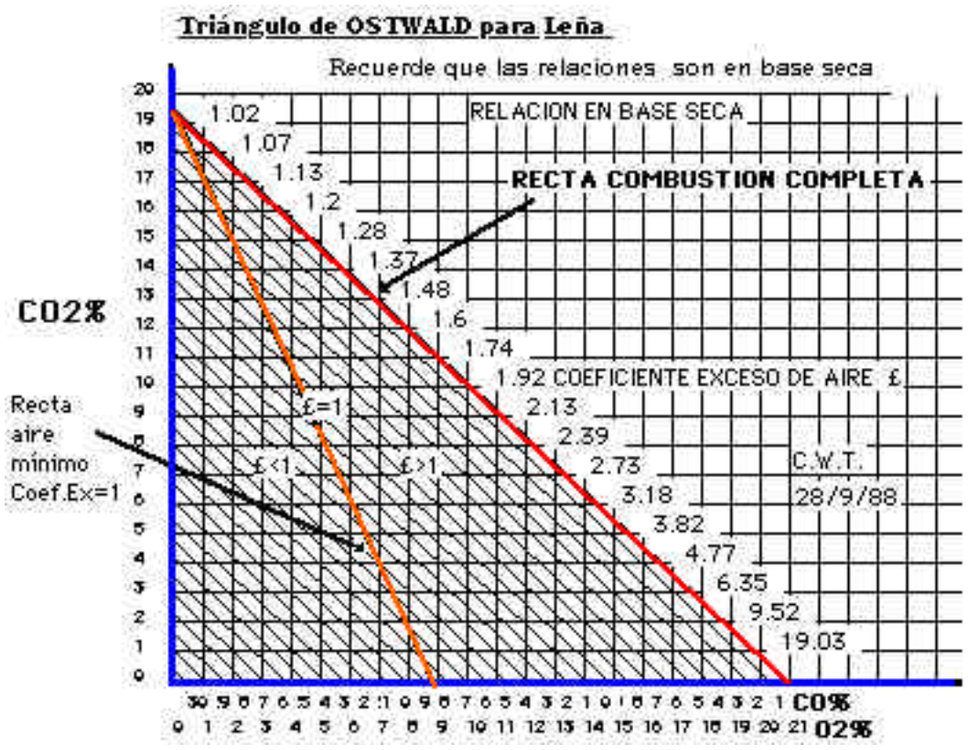
Para medir el exceso de aire en los gases de chimenea debemos utilizar instrumentos y gráficos. No todo el exceso de aire se debe al que ha entrado por el quemador, pudiendo haber filtraciones por la envuelta de la caldera o tapas de observación. Este aire debe ser eliminado todo lo posible poniendo juntas (o calafateando rajaduras o aberturas que no ajustan).



Este gráfico permite tener una idea del **Exceso de aire** (coeficiente) al medir los gases de chimenea, tiene el inconveniente que supone que **no hay presencia de CO** (monóxido de carbono, es decir carbono que se ha "quemado" con un solo oxígeno y ha entregado un 30% de su calor solamente) **cuando hay exceso de aire**. El exceso de aire empieza al valor mayor que 1, siendo el % de exceso igual al Nº menos 1 por 100 (ejemplo: midiendo leña tenemos un CO2 de 10%, en el Eje vertical leemos 10% de CO2 y seguimos la horizontal hasta que corte la curva de CO2 correspondiente a la leña, desde ese punto bajamos por la vertical hasta el eje horizontal donde leeremos Coeficiente de Exceso de aire 1,9 , el % de Exceso de aire será : 1,9-1= 0,9 por 100 = 90% de Exceso de aire. Es decir, que tenemos un 90% de aire que sobraría, pero en leña normalmente podemos necesitar un Exceso de aire del 40-50%, es decir que el aire realmente sobrante será 90%-40% (ó 50%) = 40%(ó 50%). Debemos de tratar de ajustar la cantidad de aire necesaria para evitar este exceso elevado.

Vemos que midiendo el **O2** (oxígeno), el **Exceso de aire es prácticamente igual** para los 3 combustibles anteriores para **una misma lectura de oxígeno**, por ello se prefiere medir el oxígeno si es posible, ya que permite medir el Exceso de aire sin saber exactamente la composición del combustible.

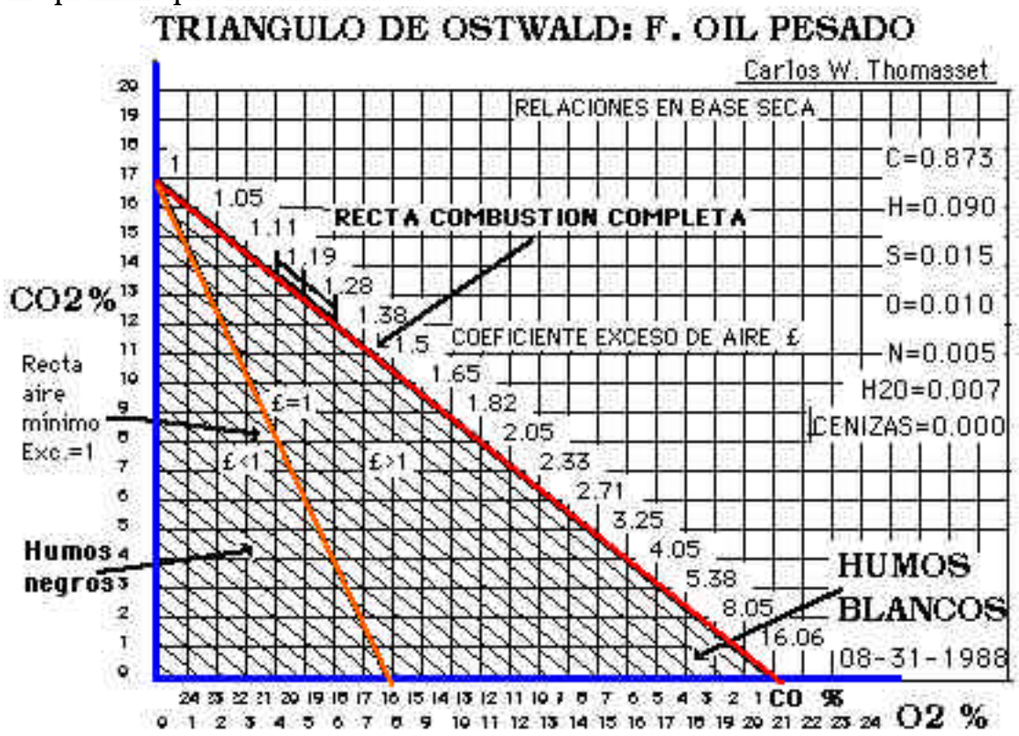
Como en Leña y gases es común que aparezca el CO **por mala combustión**, es preferible la utilización del triángulo de OSTWALD, para lo cual debemos de medir siempre el CO2% o el O2% , **pero siempre medir el CO** (que aunque haya exceso de aire, puede producirse por mala combustión).



Para utilizar el triángulo de OSTWALD en leña es conveniente medir CO2 u O2 y CO en ambos casos (o los tres es mejor: con un ORSAT). Por la vertical entre con las lecturas de CO2 % y por horizontal entre el O2% en la numeración inferior, si no hay CO trazando los valores de CO2 y O2, los mismos deberán cortarse en la hipotenusa, en donde leeremos el Coeficiente de Exceso de aire. Si medimos el CO % (que es aconsejable) debemos de leer su valor en la horizontal correspondiente a CO% y seguir las paralelas a la hipotenusa en el interior del triángulo hasta cortar el punto en que debería unirse con los trazados de CO2% y O2%, en este caso el Coeficiente de Exceso de aire se debe de sacar trazando una paralela a la recta que marca el Coeficiente de Exceso de aire igual a 1 (aire mínimo necesario) que pasaría por el punto de intersección de las rectas (del CO2, O2 y CO) y que cortaría a la hipotenusa en donde se leería el valor del Coeficiente de exceso del aire (estas rectas no se trazaron para no oscurecer el trazado). Normalmente si medimos con un ORSAT (CO2,CO y O2) es muy difícil que se unan en un punto, por lo que hay que trazar el triángulo de los cortes entre cada una de las rectas (CO2 y CO , CO2 y O2 , CO y O2) y tomar el punto medio equidistante de los 3 lados de este triángulo pequeño.

Puede haber diferencias importantes entre la medida del ORSAT y el triángulo de OSTWALD que disponemos, ya que el trazado depende de la composición de la leña, su combustión y errores al medir; pero es muy interesante su aproximación para poder razonar los problemas de la combustión.

En el trazado del triángulo de OSTWALD, hemos supuesto que el CO viene solo como gas sin quemar, cuando en la práctica se considera la presencia de otros elementos sin quemar, como el hidrógeno entre ellos, se puede estimar que tenemos la misma cantidad de estos gases sin quemar que la cantidad de CO.



Poderes caloríficos de los combustibles usuales:

P.C.S. (Poder calorífico superior) **P.C.I.** (Poder calorífico inferior)

La diferencia consiste que en el P.C.I. se descuenta el calor necesario para vaporizar el agua que se forma en la combustión del hidrógeno y el agua que trae como humedad el propio combustible (P.C.I.= P.C.S. - 600 x Agua Total), mientras que en el P.C.S. el agua se supone condensada (a 0ºC) midiendo todo el calor disponible.

Fuel Oíl Pesado (Nº6).....	P.C.S. =10.300 Kcal./Kg.	P.C.I. = 9.700 Kcal./Kg.
Súper gas (garrafas).....	P.C.S. =12.800 Kcal./Kg.	P.C.I. =11.800 Kcal./Kg.
Gas natural.....	P.C.S. = 12.290 Kcal/Kg.	P.C.I. = 11.100 Kcal/Kg.

Este valor para el gas natural, responde al ramal Paysandú (junio 2000), los valores deben ser tomados de la información del ramal correspondiente (según procedencia).

El volumen tomado por el **gas natural**, generalmente es referido al m3. a una temperatura de 15ºC y 1 atmósfera de presión. Su **gravedad específica** respecto al aire (aprox. 0,62) o su peso por m3.-densidad- a una temperatura de 15ºC y 1 atmósfera de presión, aprox. **0,76 Kg/m3**). Lo que podemos establecer un P.C.S. de 9.400 Kcal/m3 y un P.C.I. de 8.490 Kcal/m3 en las condiciones de presión y temperatura antes dicha. Estos valores varían de acuerdo a la zona de extracción del gas y al tratamiento del mismo.

La leña como tiene distintas humedades, el poder calorífico dependerá del % de humedad de la misma no solo por el agua que forma y trae, sino por el % de materia que es ocupada por el agua (si la humedad es el 40% , la materia seca será el 60% - con su agua de formación - ésta agua y el 40% será el agua a evaporar).

Leña de eucaliptos:

Humedad 0% (totalmente seca) P.C.S. = 4.685 Kcal/Kg. P.C.I.= 4.300 Kcal/Kg.

La humedad mínima de la leña que se logra en la práctica es de 20% después de 1 año, pero lo normal es del 25% (más de 6 meses de estacionamiento).

Humedad 25%.....P.C.S. = 3.510 Kcal./Kg. P.C.I. = 3.080 Kcal./Kg.
Humedad 30%.....P.C.S. = 3.280 Kcal./Kg. P.C.I. = 2.830 Kcal./Kg.
Humedad 35%.....P.C.S. = 3.045 Kcal./Kg. P.C.I. = 2.590 Kcal./Kg.
Humedad 41%.....P.C.S. = 2.760 Kcal./Kg. P.C.I. = 2.290 Kcal./Kg.
Cáscara de arroz 10%.....P.C.S. = 3.100 Kcal./Kg. P.C.I. = 2.800 Kcal./Kg.

modulo 9

Cuando la leña se corta en los montes de eucaliptos la humedad supera el 60%

La humedad la estamos dando en base húmeda (% H b.h.) es decir, tomada una cantidad de leña, pesada (Ph) , secada en una estufa a baja temperatura (unos 105ºC) hasta peso constante y pesada nuevamente la cantidad anterior (Ps), el % de humedad es de acuerdo a este cálculo:

% H b.h. =[(Ph - Ps) ÷ Ph] x 100

Tener cuidado con la humedad dada en base seca (% H b.s.) (que usan los madereros) que es igual :

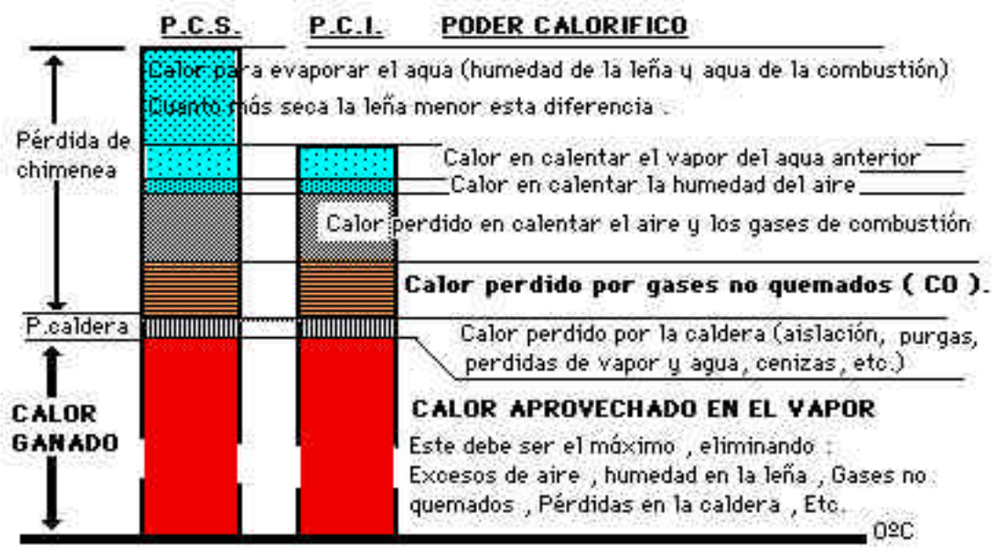
% H b.s. =[(Ph - Ps) ÷ Ps] x 100

En caso que nos dan la humedad en base seca (% H b.s.) podemos hacer la conversión de base seca a base húmeda:

% H b.h. = [% H b.s. ÷ (% H b.s.+100)] x 100

Ejemplo: una leña con una humedad en base seca de % H b.s.= 25%, aplicando lo anterior % H b.h. = 25 / (25 +100) x 100 = 20% H b.h.. **Las dos humedades significan lo mismo, pero se expresan en cantidades diferentes, por eso hay que hacer la aclaración a cual base están referidas.**

Cuadro comparativo al tomar los poderes caloríficos: superior e inferior.


P.C.S.
P.C.I.
PODER CALORIFICO
Calor para evaporar el aqua (humedad de la leña y aqua de la combustión)
Cuanto más seca la leña menor esta diferencia .
Pérdida de chimenea
Calor en calentar el vapor del aqua anterior
Calor en calentar la humedad del aire
Calor perdido en calentar el aire y los gases de combustión
Calor perdido por gases no quemados (CO).
P.caldera
Calor perdido por la caldera (aislación, purgas, perdidas de vapor y agua, cenizas, etc.)
CALOR GANADO
CALOR APROVECHADO EN EL VAPOR
Este debe ser el máximo , eliminando :
Excesos de aire , humedad en la leña , Gases no quemados , Pérdidas en la caldera , Etc.
0ºC

Véase que la cantidad absoluta del calor aprovechado en el vapor es la misma en ambos casos, varía el % referido a cada uno al no tener en cuenta en el P.C.I. el calor de evaporación del agua (de humedad y combustión). En apariencia el % de la eficiencia al P.C.I. es mayor que la dada con el P.C.S. **pero al referirla al calor absoluto aprovechado en el vapor es igual. Vemos en este caso el de la leña.**

En resumen:

Para mejorar cada una de las eficiencias estudiadas se debe hacer lo siguiente:

Para mejorar eficiencia de la combustión: **Disminuir al máximo el exceso de aire necesario** para la combustión y las penetraciones de aires por juntas o filtraciones de la estructura de la caldera, **disminuir las pérdidas por gases no quemados** mejorando las condiciones de combustión (atomización, temperatura del combustible y aire, mezcla de combustible y aire, humedad del combustible, temperatura de la combustión o zona donde se produce la combustión, etc.), **limpieza de superficies de transferencia térmica** (El hollín y la ceniza son muy aislantes, se deben de limpiar los tubos y hogares en forma periódica. Mantener la superficies del lado del agua y vapor limpia de incrustaciones y barros aislantes, haciendo un correcto tratamiento químico. Aprovechar al máximo la superficie de transferencia del hogar ajustando la llama en el lugar correcto para la finalización de su combustión, etc.).

Para mejorar eficiencia de la caldera como equipo térmico: en este caso debemos de buscar la forma que la caldera **no pierda calor a la sala de caldera por la aislación y su estructura,** no permitir fugas de agua o vapor (por los vástagos de las válvulas, tapillas, empaquedaduras de bombas, etc.), buscar la mejor calidad de agua para evitar el purgar % altos (retornar el máximo de condensado, hacer el tratamiento químico interno adecuadamente, etc) o de lo contrario usar al máximo la purga continua con recuperación del calor por medio de intercambiadores.

Cualquiera de las mejoras anteriores repercutirá en la mejora de la Eficiencia total.

Recuerde de referirse a las eficiencias para un mismo poder calorífico (**P.C.S. o P.C.I.**), ya que si bien las cantidades expresadas como % son numéricamente diferentes, no así al significado al referirse a cada poder calorífico, evitando que su interpretación numérica se preste a confusión.

Es conveniente al expresar las eficiencias referirlas al P.C.I., de esta manera juzgamos más adecuadamente **la eficiencia propia de la caldera**, ya que en este caso **no juzgamos mayormente la condición del combustible** (es decir, el contenido de hidrógeno que formará agua y el contenido de agua como humedad que pueda traer el mismo). De esta manera podemos comparar calderas refiriéndonos a su propia eficiencia prescindiendo en parte de la calidad del combustible.

Cuando estamos expresando las eficiencias referidas al P.C.S., estamos involucrando la calidad del combustible. Por ello al comparar calderas con eficiencias medidas al P.C.S. en realidad estamos comparando calidades de combustibles mas que calidades de calderas, ya que las diferencias en % son más notorias por el combustible que por la caldera en sí.